

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

PEDRO MAZZOCCO PEREIRA

**DESEMPENHO DE PLANTAS DE *Jatropha curcas* L. CULTIVADAS EM DUAS
LOCALIDADES DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA

2014

PEDRO MAZZOCCO PEREIRA

**DESEMPENHO DE PLANTAS DE *Jatropha curcas* L. CULTIVADAS EM DUAS
LOCALIDADES DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Biologia Vegetal do
Centro de Ciências Humanas e Naturais da
Universidade Federal do Espírito Santo,
como parte dos requisitos para obtenção do
Grau de Mestre em Biologia Vegetal, Área
de Concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof^a Diolina Moura Silva

Co-Orientação: Camilla Zanotti Gallon

VITÓRIA

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

P436d Pereira, P. M., 1987-
Desempenho de plantas de *Jatropha curcas* L. cultivadas
em duas localidades do estado do Espírito Santo / Pedro
Mazzocco Pereira. – 2014.
47 f. : il.

Orientador: Diolina Moura Silva.

Coorientador: Camila Zanotti Gallon.

Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e
Naturais.

1. Fluorescência. 2. Pinhão-mansão - Floração. 3. Clorofila -
Índices. 4. Trocas gasosas. I. Silva, Diolina Moura. II. Gallon,
Camilla Zanotti, 1979-. III. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57


PEDRO MAZZOCCO PEREIRA

DESEMPENHO DE PLANTAS DE *Jatropha curcas* L. CULTIVADAS EM DUAS LOCALIDADES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Aprovada em 23 de Janeiro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA



Profª Dra Diolina Moura Silva

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Orientadora



Profº Drº José Aires Ventura

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - UFES
Examinador Interno



Profº Drº Marcos Antonio Bacarin

Universidade Federal de Pelotas- UFPelotas
Examinador Externo

“Os loucos que acham que podem mudar o mundo, são os que efetivamente o fazem.”

(Steve Jobs)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Lucinéia de Fátima Mazzocco, que tornou possível minha jornada até aqui e o apoio de meus familiares.

Agradeço a minha orientadora Diolina Moura Silva pela grande dedicação ao trabalho e por transmitir seu conhecimento. Agradeço a minha Co-orientadora pelos comentários e sugestões.

Agradeço os integrantes do Núcleo de Estudos da Fotossíntese que me auxiliaram nas viagens a campo.

Agradeço aos colegas do PPGBV pelo companherismo e a “Betinha” pelo carisma inestimável.

Agradeço a minha namorada Nathália Machado Berti pelo apoio e paciência.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho das plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em duas localidades do estado do Espírito Santo: Itarana e Pontal do Ipiranga. Para isso, foram realizadas medições entre dezembro de 2012 a abril de 2013 quanto à fenologia vegetativa e reprodutiva, trocas gasosas, fluorescência transiente e modulada da clorofila *a* e índice de clorofila. No período de avaliação os maiores picos de floração ocorreram entre o mês de dezembro e janeiro nas plantas cultivadas em Itarana e o maior número de frutos secos foram encontrados no mês de março. As plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga mostraram menor crescimento de parte aérea e baixa produção de inflorescências, flores e frutos. Houve queda das folhas mais velhas durante o período de maior estresse hídrico e rebrota logo após as primeiras chuvas na região de Pontal do Ipiranga enquanto na região de Itarana não houve perda de folhas durante o período analisado. As trocas gasosas mostraram as maiores taxas, em Itarana, no início do período reprodutivo e queda gradativa ao longo dos meses enquanto na região de Pontal do Ipiranga ocorreu o inverso e as maiores taxas de fotossíntese líquida aconteceram ao final do período de frutificação. A análise da diferença cinética (ΔV_{OP}) apontam diferenças positivas nas folhas das plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga, que demonstram claramente a inibição do transporte de elétrons entre o FSII e o FSI nos três primeiros meses analisados (dezembro, janeiro e fevereiro). Observou-se o aparecimento de banda K, indicativa de danos no processo de fotoxidação da água no complexo de evolução do oxigênio, diminuição da conectividade das unidades que compõem o centro de reação do FSII, comprovado pelo aparecimento da Banda L positiva e uma banda G positiva indicativa de danos ao nível de “pool” de plastoquinonas e comprometimento da eficiência do FSI nas plantas de Pontal do Ipiranga entre os meses de janeiro, fevereiro e março. Considerando que o desenvolvimento da cultura é afetada pelos níveis de radiação fotossinteticamente ativa, pela sazonalidade da temperatura e da pluviosidade torna-se necessário considerar as variáveis fisiológicas durante a elaboração de modelos de zoneamento agroclimático. Infere-se, portanto, que as plantas que possuíram melhor desempenho da cultura foram as plantas cultivadas na localidade de Itarana.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L., floração, índice de clorofila, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*.

ABSTRACT

This study aimed at assessing the development of *Jatropha curcas* plants (*Jatropha curcas* L.) grown at two locations in Espírito Santo: Itarana and Pontal do Ipiranga. In order to do that, measurements were performed between December 2012 and April 2013 regarding the vegetative and reproductive phenology, gas exchange, transient and modulated chlorophyll *a* fluorescence and chlorophyll index. During the assessment period it occurred the highest blooming season of plants grown in Itarana, between the months of December and January, and the largest number of nuts was found in March. Plants grown in Pontal do Ipiranga showed lower growth of shoots and low production of inflorescences, flowers and fruits. There was a drop of older leaves during the period of greatest water stress and regrowth after the first rains in the region of Pontal do Ipiranga while in the region of Itarana there was no leaf drop during the analysis period. Gas exchange showed the highest rates in Itarana at the beginning of the reproductive period and gradual fall over the months, while in the region of Pontal do Ipiranga the reverse occurred and the highest rates of net photosynthesis took place at the end of the fruiting period. The analysis of the kinetic difference (ΔV_{OP}) indicates positive differences in the leaves of plants grown in Pontal do Ipiranga, which clearly demonstrate the inhibition of electron transport between PSII and PSI in the first three months (December, January and February). It was observed the appearance of a K-band, an indicative of damage in the process of photooxidation of water in the water-splitting complex, decreased connectivity of the units that form the PSII reaction center - evidenced by the appearance of positive L-Band and a positive G-band indicative of damage in the plastoquinone-pool level and impaired efficiency of PSI in the plants of Pontal do Ipiranga - in the months of January, February and March. Whereas the development of culture is affected by the levels of photosynthetically active radiation, seasonality of temperature and rainfall make it necessary to consider the physiological variables during the modeling of agroclimatic zoning. It is inferred, therefore, that the plants which possessed better crop performance were the plants grown in the town of Itarana.

Keywords: *Jatropha curcas* L. , flowering , chlorophyll index , gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Lista de abreviaturas dos parâmetros do Teste JIP	23
Tabela 2	Análise química das folhas das plantas de <i>J. curcas</i> de Itarana e de Pontal do Ipiranga, Linhares	28
Tabela 3	Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (<i>A</i>); concentração de CO ₂ na câmara subestomática (<i>C_i</i>); taxa de transpiração (<i>E</i>); condutância estomática (<i>g_s</i>); evidência da remoção do carbono pela fotossíntese (<i>C_i/Ca</i>) e eficiência instantânea do uso da água (<i>A/E</i>) de plantas de <i>J. curcas</i> cultivadas em Itarana e Pontal do Ipiranga avaliadas durante os meses de dezembro de 2012 a abril de 2013	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado do Espírito Santo	19
Figura 2:	Precipitação e evapotranspiração potencial mensal em Itarana e Pontal do Ipiranga durante os meses de novembro/2012 a abril/2013	26
Figura 3:	Crescimento da parte aérea (altura, número de ramos e de folhas) das plantas cultivadas em Itarana e Pontal do Ipiranga durante os meses de dezembro/2012 a abril/2013	23
Figura 4:	Taxa de assimilação líquida de CO ₂ , concentração de CO ₂ na câmara subestomática, taxa de transpiração, condutância estomática, remoção do carbono pela fotossíntese e eficiência instantânea do uso da água nas plantas cultivadas em Itarana e Pontal do Ipiranga	31
Figura 5:	Índice de clorofila	32
Figura 6:	Intensidade da fluorescência rápida da clorofila <i>a</i> e cinética de fluorescência variável relativa (V _I)	33
Figura 7:	Diferenças cinéticas da fluorescência da clorofila <i>a</i>	34
Figura 8:	Taxa de dissipação de energia (F ₀ /F _M)	35
Figura 9:	Rendimentos quânticos e índices de desempenhos nas plantas cultivadas em Itarana e em Pontal do Ipiranga	36
Figura 10:	Rendimento quântico efetivo do FSII e taxa de transporte de elétrons nas plantas cultivadas em Itarana e em Pontal do Ipiranga	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Eficiência da Fotossíntese	16
2.1	Fenologia Reprodutiva	17
3	OBJETIVOS	19
3.1	Objetivo geral	19
3.2	Objetivos específicos	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Material Vegetal e Condições de Cultivo	20
4.2	Dados Climatológicos	20
4.3	Análise física e química do solo	20
4.4	Análise químicas das folhas	22
4.5	Fenologia Vegetativa e Reprodutiva	22
4.6	Trocas gasosas	22
4.7	Índice de clorofila	23
4.8	Cinética de Emissão da Fluorescência Rápida ou Polifásica (OJIP)	23
4.9	Fluorescência da clorofila <i>a</i> com pulso modulado	25
4.10	Estatística	25
5	RESULTADOS	25
6	DISCUSSÃO	35
7	CONCLUSÃO	39
8	REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

Conhecido como pinhão-mansão, *Jatropha curcas* (Linnaeus) é uma espécie nativa da América Central pertence à família das Euforbiáceas. O potencial primário do pinhão-mansão encontra-se no fato de que suas sementes podem ser usadas para produção de biocombustíveis, alimentando a crescente demanda energética global (EVERSON et al., 2013). Além disso, o cultivo de *J. curcas* tem a vantagem sobre outras culturas de oleaginosa por ela ser uma planta não comestível (RAO et al., 2012).

O pinhão-mansão vem sendo cultivado com sucesso em áreas tropicais e subtropicais Como África e Ásia (CONTRAN et al., 2013). O Brasil é o terceiro país que mais gerou publicações com pinhão-mansão no mundo, seguido da Índia e China, o que evidencia o interesse dos países emergentes em ampliar o conhecimento agrônomo e biológico sobre esta oleaginosa (MACHADO; LAVIOLA, 2011).

J. curcas tem sido proposta como uma cultura perene para ambientes marginais, devido à facilidade de adaptação as mais diversas condições edafoclimáticas e onde a maior parte das culturas tradicionais não consegue se desenvolver como, por exemplo, em ambientes com chuvas escassas e solos pobres (ARRUDA et al., 2004). No estado do Espírito Santo, Brasil, seu cultivo apresenta-se apto em 78% das áreas agrícolas do estado, privilegiando principalmente as áreas menos montanhosas (PEZZOPANE et al., 2006).

Estudos recentes sobre a fisiologia das plantas de *Jatropha curcas* frente às condições climáticas revelam que esta espécie possui uma multiplicidade de mecanismos de respostas morfológicas e fisiológicas para sobreviver à seca, com prematuro fechamento estomático, queda de folhas e crescimento vegetativo lento (SANTOS et al., 2010; FINI et al., 2013).

No entanto, poucos são os trabalhos que relacionam as características fisiológicas com o desempenho reprodutivo da cultura do pinhão-mansão em diferentes condições de cultivo. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido visando ampliar o conhecimento da fisiologia de *Jatropha curcas* considerando ser este um relevante subsídio para a compreensão da dinâmica da cultura e para os futuros planos de manejo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eficiência da Fotossíntese

Fatores do ambiente, tais como a seca, a salinidade e temperaturas extremas afetam a disponibilidade de água e nutrientes do solo e consequentemente a produtividade agrícola. O problema enfrentado pelas plantas em condições de alta radiação solar e altas temperaturas, principalmente nas regiões tropicais é a absorção da energia pelas folhas que pode elevar a temperatura em até 5° C acima da temperatura ambiente (WAHDWA et al., 2010).

O estresse hídrico combinado com altas temperaturas é capaz de alterar os processos fisiológicos em plantas de pinhão-manso, provocando danos à integridade das membranas celulares das folhas, inibindo o transporte de elétrons da etapa fotoquímica da fotossíntese e diminuindo as trocas gasosas (SILVA et al., 2010a). Também o estresse salino é capaz de reduzir a assimilação líquida de carbono, porém não é maior do que o dano causado pelo estresse hídrico (SILVA et al., 2010b).

As plantas de *J. curcas* possuem metabolismo do carbono, típico de espécies C₃ e apresentam máxima atividade fotossintética quando a concentração de nitrogênio é alta no tecido foliar (YONG et al., 2010). Portanto, é de se esperar que o pinhão-manso tenha maior rendimento quando cultivado em áreas com solo bem irrigado e adequada nutrição mineral.

Técnicas de análises de trocas gasosas e da cinética da fluorescência da clorofila *a* têm sido fundamentais para analisar o efeito de mudanças nas condições ambientais. Considerando-se que o crescimento e o acúmulo de biomassa podem ser afetados por qualquer fator ambiental que afetar fotossíntese pode-se entender porque estas técnicas têm sido amplamente utilizadas.

A fluorescência da clorofila *a* é um método não invasivo, facilmente mensurável e fornece informações básicas sobre o estado funcional e estrutural do aparelho fotossintético (STRASSER et al., 2000; OUKARROUM et al., 2007; THOREN et al., 2010). A curva de cinética de emissão da fluorescência pode ser dividida em duas fases – uma fase rápida ou transiente que dura aproximadamente 1 s depois do início da iluminação e uma fase lenta que ocorre pelos próximos minutos até a atingir a estabilidade da fluorescência. Usando medidas da cinética da fluorescência é possível caracterizar, quantificar e detectar o estresse de plantas antes que os sintomas se tornem visíveis nas folhas (CHRISTEN et al., 2007). Até agora, a atividade do FSII nas plantas submetidas a altas temperaturas tem sido extensivamente

estudado, especialmente usando-se os resultados da fluorescência transiente da clorofila *a* (CHEN et al, 2009; MATHUR et al., 2011; YAN et al., 2011; BRESTIC et al., 2012).

Quando se expõe uma folha ao escuro seguido por um pulso de saturação de cerca de $3.000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a fluorescência aumenta de um nível mínimo (F_0) para o nível máximo (F_M). Este comportamento rápido quando plotado em uma escala logarítmica de tempo mostra uma curva polifásica onde três fases bem distintas podem ser identificadas: O-J (0-3 ms), J-I (3-30 ms) e I-P (30-200 ms) (STRASSER; GOVINDJEE, 1991; SCHANSKER et al., 2013).

A primeira fase da fase fotoquímica (a curva ascendente O-J) está relacionada, principalmente com a redução da quinona A (Q_A) e depende fortemente do número de fótons absorvidos. No final dessa etapa, Q_A está completamente reduzida. Os próximos aumentos (J-I-P) constituem a chamada fase térmica. A fase J-I representa a redução do “pool” de PQ pelo FSII e o ponto de inflexão I é alcançado quando a taxa de oxidação do “pool” de PQ está próximo do seu máximo. A fase I-P representa a redução completa dos receptores de elétrons, NADP⁺ e ferredoxina, no FSI. Segundo Stirbet e Govindjee (2012) durante a fase térmica (J-I-P) Q_A continua a ser foto-reduzida, até a fluorescência atingir o seu rendimento máximo ($F_P = F_M$). Em paralelo, o “pool” de PQ é reduzido gerando um gradiente de pH transmembranar.

As informações obtidas a partir da indução da cinética da fluorescência lenta da Chl *a*, que inclui transições do aparato fotossintético de um estado adaptado ao escuro para um estado adaptado à luz, podem ser decodificadas usando um conjunto de parâmetros definidos ao longo das últimas quatro décadas (KITAJIMA; BUTLER, 1975; SCHREIBER et al., 1986; GENTY et al., 1990; MAXWELL; JOHNSON, 2000; KRAMER et al., 2004). Assim, destacam-se: o rendimento quântico real da conversão de energia no FSII (ϕFSII) parâmetro que mede a proporção de luz absorvida pela clorofila associada ao FSII que é realmente usada no início da etapa fotoquímica; o “quenching” ou extintor não fotoquímico (NPQ), que é um parâmetro derivado da equação de Stern-Volmer e usado principalmente para indicar o excesso de energia radiante dissipada como calor no FSII.

Quando se combina medições das trocas gasosas com a cinética da fluorescência da Chl *a* têm-se a oportunidade de estimar as formas de regulação fotossintética e uma grande quantidade de parâmetros de fotossíntese como a condutância mesofilica (g_m), a razão CO_2/O_2 que mostra a especificidade relativa da atividade carboxilase e oxigenase da Ribulose-1, 5 bis-fosfato carboxilase / oxigenase (Rubisco), assim como a proporção da densidade de fluxo de fótons absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos canalizado para o FSII (BONGI;

LORETO, 1989; EVANS; VON CAEMMERER, 1996; MAKINO et al., 2002; PETERSON, 1989).

Em regiões tropicais a fotossíntese pode ser limitada pelos estresses hídricos, lumínicos, de temperatura, dentre outros que restringem a difusão através dos estômatos ou alteram indiretamente, através do estresse oxidativo, o aparelho fotossintético. Medidas não invasivas das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila permitem unir e correlacionar um conjunto de dados sobre o processo fotossintético em espécies de interesse no agronegócio submetidas a estresses ambientais. Estas metodologias fornecem informações importantes sobre a funcionalidade do aparato fotossintético que combinado com outros estudos fisiológicos, bioquímicos e moleculares permitem, às vezes, compreender os mecanismos com base na resposta da planta (GUIDI e CALATAYUD, 2014).

2.2 Fenologia Reprodutiva

De acordo com Paiva Neto et al. (2010) o fato do pinhão-mansinho possuir boa adaptação a ambientes semi-áridos, o óleo de suas sementes possuir propriedades para o uso como substituto do diesel combustível e a cultura poder ser usada para o controle da erosão, um grande número de informações referentes à espécie precisam ser geradas. Dentre essas informações destacam-se as caracterizações fenológica, reprodutiva e genotípica, técnicas de propagação, criação e manutenção de banco de germoplasma, metodologias para extração e composição do óleo.

Em algumas regiões tropicais o florescimento (e a produção de sementes) de *Jatropha* durante a época de chuvas é limitado pela baixa irradiância (AKER, 1997; 2011). Alguns autores sugerem que as baixas taxas fotossintéticas limitam tanto o crescimento vegetativo (SCHOCK et al., 2014) quanto a floração (CAMPUZANO DUQUE, 2011; ZAMARRIPA, 2011). A luz é também um sinalizador do relógio biológico e participa da rede de sinalizadores ambientais podendo induzir o ritmo circadiano da planta (YEANG, 2009). Pesquisas na área de biologia molecular, usando *Arabidopsis thaliana* como modelo, confirmam a existência de um “caminho fotoperiódico da floração”, que é a interação entre as mudanças de fotoperíodo e os ritmos circadianos da planta e conduzem ao sincronismo sazonal da floração (SUAREZ-LOPEZ et al., 2001; Yanovsky e Kay, 2002).

No Brasil o florescimento das plantas de *Jatropha curcas* L. inicia-se, normalmente, depois de um período de dormência que geralmente ocorre no inverno, época em que a temperatura e a precipitação são reduzidas. Após a indução floral, o florescimento é contínuo

por períodos prolongados, e o sincronismo parece variar com a disponibilidade de água no solo (JUHÁSZ et al., 2009).

Maya e Arriaga (1996), estudando a fenologia reprodutiva de três espécies do gênero *Jatropha*, compararam *Jatropha cinerea* e *Jatropha cuneata* com *Jatropha curcas* e verificaram que a floração foi significativamente sazonal, concentrando-se durante a estação úmida e apresentando correlação significativa com a precipitação. E ainda, para a espécie *Jatropha gaumeri*, houve a influência da pluviosidade nas diversas fenofases e um alto índice de queda foliar com o fim da época da chuva (SAYER; NEWBERY, 2003).

Juhász et al. (2009) obtiveram uma proporção de 20 flores masculinas para uma flor feminina em cada inflorescência de *Jatropha curcas* L. avaliada. O intervalo de abertura das flores femininas variou de um a sete dias, conforme o número delas na inflorescência. No teste de apomixia, houve formação de frutos em apenas 5% das flores avaliadas. A percentagem de frutificação variou de 79 a 88% na autofecundação manual, na geitonogamia e na xenogamia. Na autofecundação sem a polinização manual a frutificação foi de 20%, e os frutos formados foram significativamente menores, com número inferior de sementes por fruto e menor índice de velocidade de emergência.

Em diferentes regiões da Índia e na China as flores masculinas de *Jatropha curcas* L. se abrem antes das femininas (RAJU; EZRADANAM, 2002; CHANG-WEI et al., 2007; DNISSA; PARAMATHMA, 2007). Já em Nova Porteirinha, MG, Brasil, algumas flores femininas desabrocharam antes que as masculinas (SATURNINO et al., 2005). Este padrão desuniforme de abertura das flores masculinas e femininas favorece a fecundação cruzada ou xenogamia (HELLER, 1996; CHANG -WEI et al., 2007).

Em dois sítios de Zambia e em Malawi a razão flor masculina/flor feminina foi de 17: 1, 22: 1 e 10: 1, respectivamente. Os períodos médios de duração das flores foram de $1,80 \pm 0,07$ dias para flores masculinas e $4,5 \pm 0,18$ dias para flores femininas e a espécie pode ser protândrica e protogínica, capaz de produzir sementes, tanto através de autopolinização quanto por polinização cruzada. Baseados nos resultados obtidos pelo conjunto de frutos e a produção de sementes os autores recomendam a estimulação da polinização natural, o que melhoraria a frutificação e a produção de sementes (NEGUSSIE et al., 2013). Entretanto, a sugestão não vem acompanhada dos caminhos a serem seguidos.

NIETSCHE et al. (2013) avaliaram 17 acessos de pinhão-manso plantados no sul da Flórida e observaram um número total de flores femininas por inflorescência e a razão flor masculina para feminina variando de 2,8 a 9,1 e 9,9:1 para 55,4: 1, respectivamente. Durante o verão de 2011, foi observada alta média de frutos (75,5%). Os autores registraram também o

teor de óleo das sementes que variou significativamente entre os diferentes modos de reprodução, desde o menor 27,1% em frutos de polinização natural para o mais alto de 29,5% em frutos de autopolinização.

No estado do Espírito Santo trabalhos recentes evidenciaram diferenças marcantes entre as plantas de um mesmo acesso de *Jatropha curcas* L. cultivadas no litoral e no interior. Houve diferenças significativas na taxa de crescimento, índice de clorofila, taxa de assimilação de CO₂ e eficiência do uso da água (GALAZZI et al., 2011a; 2011b; 2011c; SANTOS et al., 2012; TESSARI et al., 2012). Em outro experimento, as plantas pertencentes a três acessos de *Jatropha curcas* L., cultivados na região noroeste do estado (Santa Teresa, ES), tiveram o início da floração no período quente e úmido (out/2011). Os autores sugerem correlação positiva com a temperatura máxima e com a pluviosidade nos meses analisados (SILVA et al., 2012).

Nota-se nos resultados citados a falta de sincronia na abertura de flores femininas e masculinas, no amadurecimento dos frutos e o longo período reprodutivo das plantas de *Jatropha curcas* L. o que dificulta a utilização dessa cultura como uma fonte sustentável de matéria prima para produção de biodiesel. Ao mesmo tempo estes resultados evidenciam claramente a necessidade do maior conhecimento ecofisiológico do metabolismo do carbono e da fenologia reprodutiva que poderão fornecer subsídios agrônômicos do rendimento real em termos de previsões econômicas e de produção.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em duas localidades do estado do Espírito Santo.

3.2 Objetivos específicos

Analisar a atividade fotoquímica de plantas de *Jatropha curcas* L. usando a fluorescência rápida e a fluorescência modulada da clorofila *a* frente às condições edafoclimáticas de duas localidades do estado do Espírito Santo;

Analisar as trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração) de plantas de *J. curcas* cultivadas em duas localidades do estado do Espírito Santo;

Comparar os padrões da fenologia reprodutiva das plantas de *J. curcas* cultivadas em duas localidades do estado do Espírito Santo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material Vegetal e Condições de Cultivo

Foram avaliadas plantas de *Jatropha curcas* L. cultivadas em duas propriedades rurais no estado do Espírito Santo: no município de Itarana (Latitude 19°55.40'S, Longitude, 40°50.87'W, Altitude: 220m) e em Pontal do Ipiranga, distrito de Linhares (Latitude: 19°23.28'S; Longitude: 40°04.20'W; Altitude: 23m). Em ambas as localidades, mudas de *J. curcas* com aproximadamente 40 dias foram transplantadas para o campo em dezembro de 2009, mantidas sob regime de sequeiro e adubadas no transplântio. Ao primeiro ano de cultivo as plantas foram podadas e adubadas com NPK, seguindo recomendação do agrônomo responsável por cada propriedade rural. As avaliações relatadas neste trabalho iniciaram após quatro anos de cultivo, isto é, no terceiro ciclo reprodutivo. E as avaliações ocorreram de dezembro de 2012 até abril de 2013.

4.2 Dados Climatológicos

Os dados foram obtidos por meio de boletins diários somado a cada mês, de Novembro de 2012 a abril de 2013, emitidos por estações meteorológicas de regiões próximas as localidades estudadas (Itarana e Pontal do Ipiranga). Os parâmetros selecionados foram: precipitação ocorrida no período (mm) e evapotranspiração potencial média do período (mm/dia). Na propriedade de Itarana a estação situava-se no próprio município (Latitude: 19,86'S; Longitude: 40,88'W; Altitude: 245m) e para propriedade em Pontal do Ipiranga a estação meteorológica mais próxima da localidade situava-se no município de Linhares. Portanto os dados climatológicos de Pontal do Ipiranga foram obtidos por meio de boletins emitidos pela estação climatológica de Linhares (Latitude 19,35'S, Longitude, 40,06'W, Altitude: 40m). O mapa de zoneamento agroclimático do Estado do Espírito Santo feito por Toledo et al. (2009) mostra a localização das localidades estudadas, Itarana e Pontal do Ipiranga.

4.3 Análises Físicas e Químicas do Solo

As amostras do solo foram coletadas em dez pontos de cada localidade de cultivo de *J. curcas* nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade. Após secagem na temperatura ambiente, desagregadas e passadas por peneira com 2mm de abertura de malha,

as amostras foram enviadas para um Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental onde foram determinadas a granulometria, densidade das partículas e as análises químicas de macro e micronutrientes com base em metodologia sugerida pela EMBRAPA (2000; 2009).

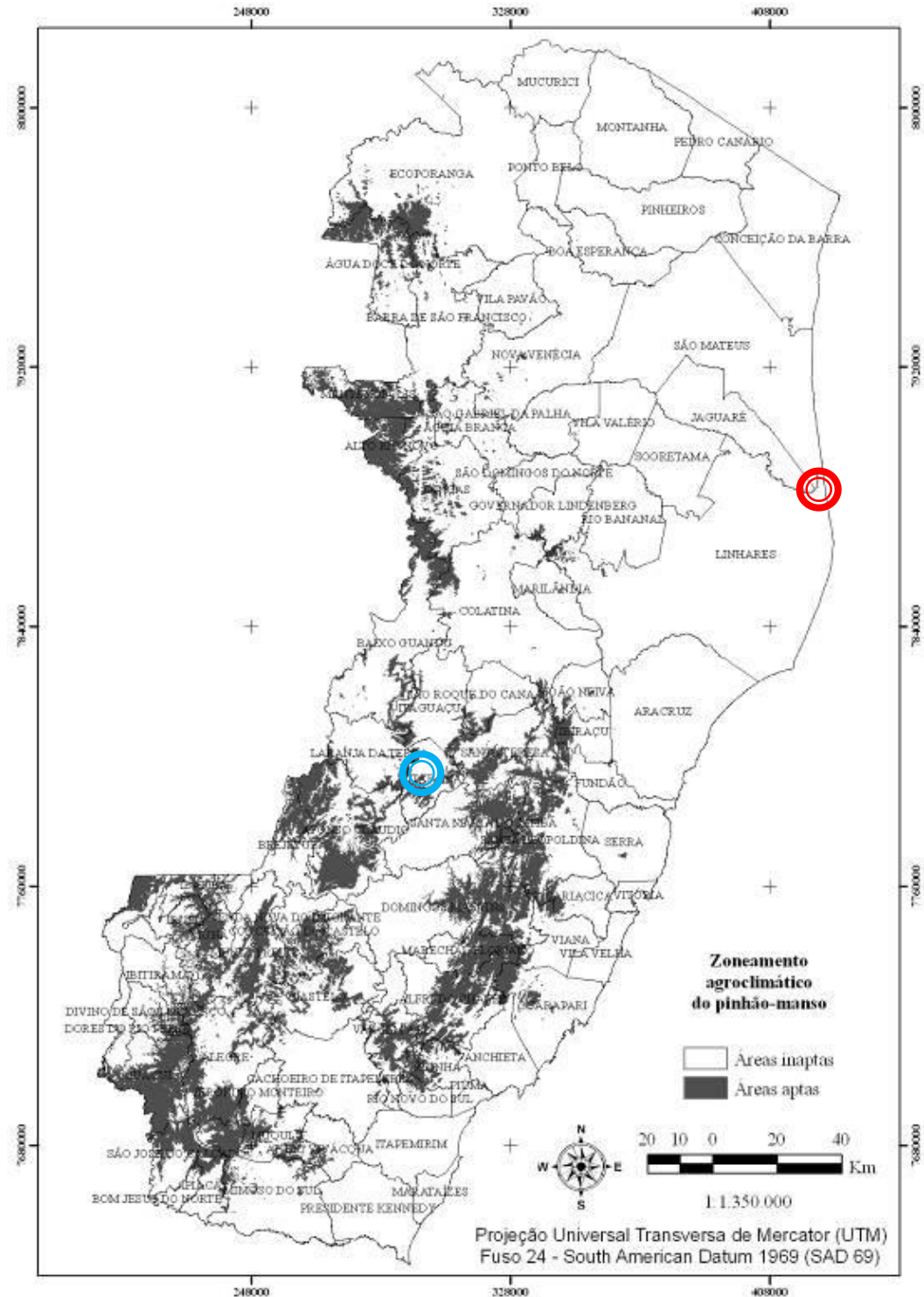


Figura 1 - Mapa de zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-mansão no Estado do Espírito Santo. Fonte: Toledo et al. (2009). Círculo azul = localização de Itarana; Círculo vermelho = Pontal do Ipiranga.

4.4 Análise Química das Folhas

Para a determinação química dos teores de macro e micronutrientes nas folhas foram coletadas dez amostras de folhas jovens totalmente expandidas de pinhão-manso de cada localidade de estudo. As amostras foram analisadas em Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental conforme metodologia da EMBRAPA (2009).

4.5 Fenologia Vegetativa e Reprodutiva

A fenologia vegetativa e reprodutiva das plantas de pinhão-manso foi registrada mensalmente, durante o terceiro ciclo reprodutivo. Utilizou-se dez (10) plantas em cada localidade (Itarana e Pontal do Ipiranga). Para a fenologia vegetativa mediu-se a altura das plantas com o uso de trena a partir da base do solo (acima de 5 cm) até o ápice do ramo principal, contagem dos números de folhas por ramos e o número de ramos por planta (contados a partir de 15 cm acima do solo). A cada visita foram registrados o número de inflorescências, flores abertas, flores masculinas e femininas, frutos verdes, maduros e secos. O padrão de fruto seco foi considerado quando os mesmos apresentaram frutos com coloração castanha escuro em fase de deiscência, conforme sugestões de Brasileiro et al. (2012).

4.6 Trocas Gasosas

As medidas das trocas gasosas foram feitas em 15 folhas jovens, totalmente expandidas, nos ramos com inflorescências, de plantas de *J. curcas* L., e realizadas mensalmente (de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013). A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e a concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol l}^{-1}$) foram medidas às 08:00-09:00 horas sob radiação fotossinteticamente ativa artificial saturante ($1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e em concentração de CO₂ ambiente usando-se um analisador de gás a infravermelho, portátil, em sistema aberto (IRGA, modelo LCIPro⁺ System, ADC BioScientific Ltd., England). A partir das variáveis obtidas foram calculadas a eficiência efetiva do uso da água (A/E , $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) e a razão entre a concentração estimada de carbono no interior da câmara subestomática e a concentração atmosférica (C_i/C_a).

4.7 Índice de Clorofila

O índice de clorofila foi determinado nas mesmas folhas onde foram estimadas as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* de cada localidade. Foi utilizado um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 (Minolta Camera Ltd., Japão). O clorofilômetro avalia, quantitativamente, a intensidade da cor verde da folha, registrando as radiações de luz de 650 nm, absorvidas pela molécula de clorofila, e de 940 nm, na qual não ocorre absorção (GIL et al., 2002)

4.8 Cinética de Emissão da Fluorescência Rápida ou Polifásica (OJIP)

A cinética de emissão da fluorescência transiente OJIP da clorofila *a* foi medida em 35 folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas de *J. curcas* L., utilizando-se um fluorômetro portátil (Modelo Handy-PEA, Hansatech Instruments®, Kings Lynn, Norfolk, UK). Folhas não destacadas foram previamente adaptadas ao escuro por 40 minutos, tempo suficiente para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz vermelha (pico 650 nm) numa intensidade de cerca de 3.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As intensidades de fluorescência foram medidas entre 20 μs e 1 s. A partir destas intensidades de fluorescência foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER; STRASSER, 1995). A lista de parâmetros utilizados neste trabalho encontra-se na Tabela 1.

As curvas obtidas foram normalizadas como fluorescência variável (V) para cada fase, compreendendo as fases: O-J, O-I e I-P (YUSUF et al, 2010), utilizando as fórmulas: $V_{OJ} = (F_t - F_0) / (F_J - F_0)$, $V_{OI} = (F_t - F_0) / (F_I - F_0)$ e $V_{IP} = (F_t - F_I) / (F_P - F_I)$; respectivamente .

Como a diferença cinética pode revelar bandas que são normalmente ocultas entre as passos O, J, I e P (STRASSER et al., 2004), foi realizado o cálculo da diferença cinética (Δ) entre cada fase, $\Delta V = (V_{\text{Pontal}}) - (V_{\text{Itarana}})$. Neste caso, as plantas de Itarana foram tomadas como referência, pois apresentavam maior desenvolvimento vegetativo (altura da parte aérea e número de ramos), sendo as plantas de Pontal do Ipiranga denominada de tratamento e recebendo a abreviatura “Pontal”. A diferença cinética ΔV_{OJ} pode revelar a banda K (em cerca de 300 μs), que quando positiva, reflete a inativação do complexo de evolução do oxigênio (especialmente do complexo de manganês) e diminuição do tamanho da antena funcional do FSII (XIANG, et al., 2013).

Tabela 1 - Lista de parâmetros do Teste JIP da fluorescência transiente da clorofila *a* utilizados neste trabalho conforme Strasser et al. (2004)

Parâmetro		Fórmula	Descrição
F_t			Intensidade da fluorescência no tempo t após início da iluminação actínica
F_0	$F_{20\ \mu s}$	$F_1 = F_{20\ \mu s}$	Intensidade da fluorescência inicial (no Handy PEA = 20 μs)
F_M	FP		Intensidade da fluorescência máxima (= passo P)
V_J	$F_{300\ \mu s}$	$V_J = (F_{2\ ms} - F_0)/(F_M - F_0)$	Fluorescência variável relativa no passo J (2 ms)
V_I	$F_{2\ ms}$	$V_I = (F_{30\ ms} - F_0)/(F_M - F_0)$	Fluorescência variável relativa no passo I (30 ms)
M_0	$F_{30\ ms}$	$M_0 = 4 (F_{300\ \mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$	Declividade inicial (em ms^{-1}) da fluorescência transiente $V = F_t$
Parâmetros da fluorescência derivados a partir da extração de dados			
F_0/F_M			Taxa de dissipação de energia
V_t	V_t	$V_t = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$	Índice da fluorescência variável no tempo t
V_{OK}	W_{OK}	$W_{OK} = (F_t - F_0)/(F_K - F_0)$	Índice de fluorescência variável relativa entre F_0 - F_K
V_{OJ}	W_{OJ}	$W_{OJ} = (F_t - F_0)/(F_J - F_0)$	Índice da fluorescência variável relativa entre F_0 - F_J
V_{OI}	W_{OI}	$W_{OI} = (F_t - F_0)/(F_I - F_0)$	Índice da fluorescência variável relativa entre F_0 - F_I
V_{IP}	W_{IP}	$W_{IP} = (F_t - F_I)/(F_P - F_I)$	Índice da fluorescência variável relativa entre F_I - F_P
Eficiências e rendimentos quânticos			
Ψ_{E_0}	ET_0/TR_0	$\Psi_{E_0} = (1 - V_J)$	Eficiência no transporte de elétron
ϕP_0	$FV/FM = TR_0/ABS$	$\phi P_0 = 1 - F_0/F_M$	Rendimento quântico fotoquímico máximo do FSII
ϕE_0	ET_0/ABS	$\phi E_0 = (1 - F_0/F_M)(1 - V_J)$	Rendimento quântico do transporte de elétron (ET)
δR_0	RE_0/ET_0	$\delta R_0 = (1 - V_I)/(1 - V_J)$	Probabilidade com que um elétron é captado do intersistema e transferido para redução dos aceptores finais no lado acceptor do FSI (RE)
ϕR_0	RE_0/ABS	$\phi R_0 = \phi P_0 \cdot \Psi_{E_0} \cdot \delta R_0 = \phi P_0(1 - V_I)$	Rendimento quântico para redução dos aceptores de elétrons no lado acceptor do FSI
Fluxos de energia específicas (redução de Q_A por centro de reação do FSII)			
ABS/RC		$ABS/RC = (M_0/V_J)/(1 - F_0/F_M)$	Fluxo de absorção por centro de reação
TR_0/RC		$TR_0/RC = M_0/V_J$	Fluxo de energia capturada por centro de reação
ET_0/RC		$ET_0/RC = M_0 (1/V_J)(1 - V_J)$	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação
RE_0/RC		$RE_0/RC = M_0 (1/V_J) \Psi_{E_0} \delta R_0$	Fluxo de redução de elétrons nos aceptores finais do FSI por centro de reação
Índices de Performace			
PI_{ABS}		$PI_{ABS} \equiv (Y_{RC}/1 - Y_{RC}) \cdot (\phi P_0/1 - \phi P_0) \cdot (\Psi_{E_0}/1 - \Psi_{E_0})$	Índice de Desempenho (potencial) para a conservação de energia a partir de um elétron excitado para a redução dos receptores de elétrons do intersistema
PI_{TOTAL}		$PI_{TOTAL} \equiv PI_{ABS} \cdot (\delta R_0/1 - \delta R_0)$	Índice de Desempenho (potencial) para a conservação de energia a partir de um elétron excitado para a redução dos receptores finais do FSI

A diferença cinética Δ_{OK} pode revelar a banda L (em cerca de 150 μs) que indica a troca de menos energia entre unidades independentes FSII. A normalização e diferença cinética Δ_{IP} , onde a amplitude máxima do aumento foi fixado em torno de 100 ms pode revelar uma banda G, indicativa da ocorrência de danos no lado receptor do FSII ao nível de “pool” de PQ (MORALES-FLORES et al., 2013).

4.9 Cinética de Emissão da Fluorescência da clorofila *a* com pulso modulado

Os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* com pulso modulado foram estimados usando-se um fluorômetro portátil (Modelo FMS-2, Hansatech Instruments Ltd, Northfolk, UK). As medições da razão fluorescência variável pela fluorescência máxima (F_V/F_M) foram realizadas em dez folhas jovens, totalmente expandidas, não destacadas das plantas de *J. curcas* L., previamente adaptadas ao escuro por 40 minutos. A fluorescência mínima (F_0'), máxima (F_M') e variável (F_V'), o rendimento quântico efetivo do transporte de elétrons no FSII ($\phi PSII$) calculado como $\phi PSII = (F_M' - F_0') / F_M'$ e a taxa de transporte de elétrons no FSII (ETR), calculado como $ETR = \phi PSII \times PFD \times 0,5 \times 0,85$ foram estimados usando luz actínica de 900 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ por 480 s e um pulso de saturação lumínica de 6.000 $mol m^{-2} s^{-1}$ seguindo metodologia de Genty et al. (1990).

4.10 Análise Estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e cada localidade representou uma unidade experimental composta por plantas de *Jatropha curcas*. Os dados foram submetidos ao teste one-way (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, usando o Programa Assistat 7.5 beta (2008), UAEG-CTRN-UFCG, Campina Grande – PB.

5. RESULTADOS

Os dados climatológicos mensais entre novembro de 2012 a abril de 2013 de cada localidade são apresentados na figura 2. Observa-se que a temperatura média mensal na região de Itarana foi sempre mais baixa do que a temperatura de Pontal do Ipiranga. Em novembro de 2012 ocorreu alta precipitação em ambas as localidades seguindo de diminuição de dezembro a abril em Itarana. Entretanto, na região de Pontal do Ipiranga (distrito do

município de Linhares), principalmente no mês de janeiro houve maior precipitação. A evapotranspiração potencial (ETP) diminuiu de dezembro de 2012 a abril de 2013 nas duas localidades, mas principalmente para a localidade de Pontal do Ipiranga no mês de abril ETP teve média de $2,9 \text{ mm dia}^{-1}$ (dados não mostrados).

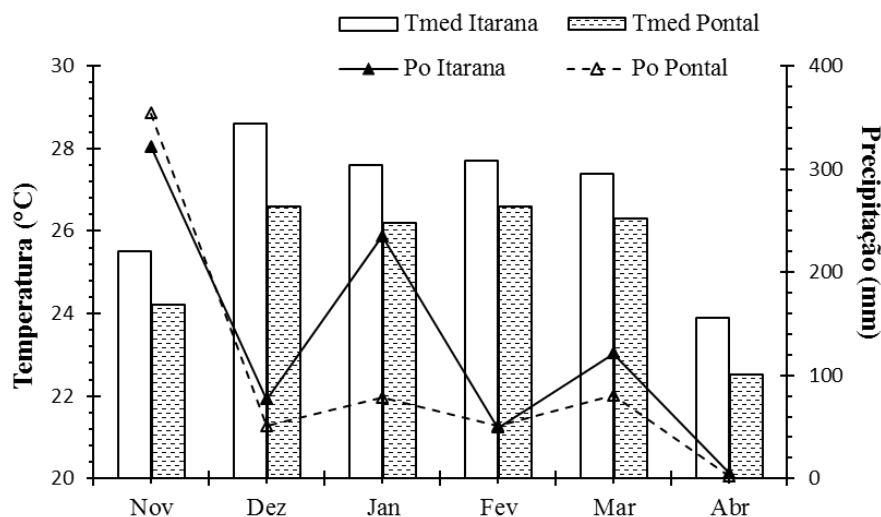


Figura 2 - Temperatura média (Tmed) e precipitação ocorrida (Po) na região de Itarana e Pontal do Ipiranga durante o período de estudo (Novembro/2012 a Abril/2013). Dados obtidos na Estação Meteorológica do Incaper.

O solo da área de estudo em Itarana foi classificado como franco-arenoso e argiloso enquanto em Pontal do Ipiranga apresenta textura arenosa. A análise de macro e micronutrientes mostrou a maioria dos nutrientes classificada como baixa ou muito baixa, principalmente o Cálcio, Fósforo, Magnésio e Manganês nas duas localidades. Em Pontal do Ipiranga os teores de Potássio, Enxofre e a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) estavam mais baixas do que em Itarana.

A análise química das folhas (Tabela 2) de *J. curcas* mostrou deficiência de Fósforo (P) e Enxofre (S) nas plantas cultivadas na região de Itarana e de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Manganês (Mn) e Boro (B) nas plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga. Em ambas localidades a concentração de Nitrogênio (N) apresentaram valores acima do adequado (25 a 30 g Kg^{-1}), conforme sugerido por Laviola e Dias (2008).

As plantas cultivadas em Itarana exibiam maior parte aérea (média de $1,80 \text{ m}$ de altura) e maior número de ramos (média de $9,4 \text{ ramos planta}^{-1}$) quando comparadas com as plantas de Pontal que apresentavam altura média de $0,90 \text{ m}$ e $5,1 \text{ ramos planta}^{-1}$ no mês de novembro de 2012, início das medições deste trabalho (Figura 3).

Tabela 2 - Análise química das folhas das plantas de *J. curcas* L., cultivadas em Itarana e em Pontal do Ipiranga e os valores adequados de macro e micronutrientes conforme Laviola e Dias (2008).

Elementos	Unidade	Valor adequado	Itarana	Pontal do Ipiranga
Nitrogênio (N)	g/Kg	25 a 30	38,8	37,2
Fósforo	g/Kg	3 a 4	1,7	3,6
Potássio (K)	g/Kg	15 a 20	16,3	16,3
Cálcio (Ca)	g/Kg	18 a 22	14,5	7,0
Magnésio (Mg)	g/Kg	8 a 12	10,4	5,4
Enxofre (S)	g/Kg	1,5 a 2,5	1,3	2,0
Ferro (Fe)	mg/Kg	110 a 250	133,5	176,7
Zinco (Zn)	mg/Kg	15 a 25	17,0	29,7
Cobre (Cu)	mg/Kg	6 a 12	8,0	7,0
Manganês (Mn)	mg/Kg	150 a 250	167,0	116,0
Boro (B)	mg/Kg	45 a 55	28,0	14,7

Durante os cinco meses de avaliação, o crescimento em altura nas plantas de Itarana foi de 10,92 centímetros e nas plantas em Pontal do Ipiranga foi de 3,6 cm. (dados não mostrados). O número de folhas por ramo diminuiu (chegando a valores próximos a zero) em fevereiro nas plantas em Pontal do Ipiranga, ocasião em que houve queda acentuada de folhas, porém com rebrota no mês seguinte. De dezembro de 2012 a abril de 2013 as plantas em Itarana apresentaram leve tendência de diminuição do número de folhas por ramo (Figura 3B).

Em dezembro e janeiro foram registrados os maiores números de inflorescência por planta em Itarana (Figura 4). Nessas plantas foi possível identificar que o pico de floração ocorre durante os meses de dezembro e janeiro enquanto nas plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga foram observados dois picos de floração sendo o primeiro em dezembro e o segundo em abril. Durante o mês de março não foram observadas inflorescências nas plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga. Os resultados mostraram uma proporção de flores masculinas/femininas igual a 5:1 nas duas localidades.

Observa-se na tabela 3 que as plantas cultivadas em Itarana apresentaram maiores taxas de assimilação líquida de CO₂ (*A*), taxa transpiratória (*E*), condutância estomática (*g_s*) e maior eficiência instantânea do uso da água (*A/E*) no mês de dezembro. Em janeiro estas plantas tiveram menores taxas de *A*, *g_s* e *C_i/Ca*. Para o mês de fevereiro, além de *g_s* e *C_i/Ca*, a *E* e *C_i* apresentaram os menores valores médios. Não foram realizadas as análises nos meses seguintes por motivos técnicos.

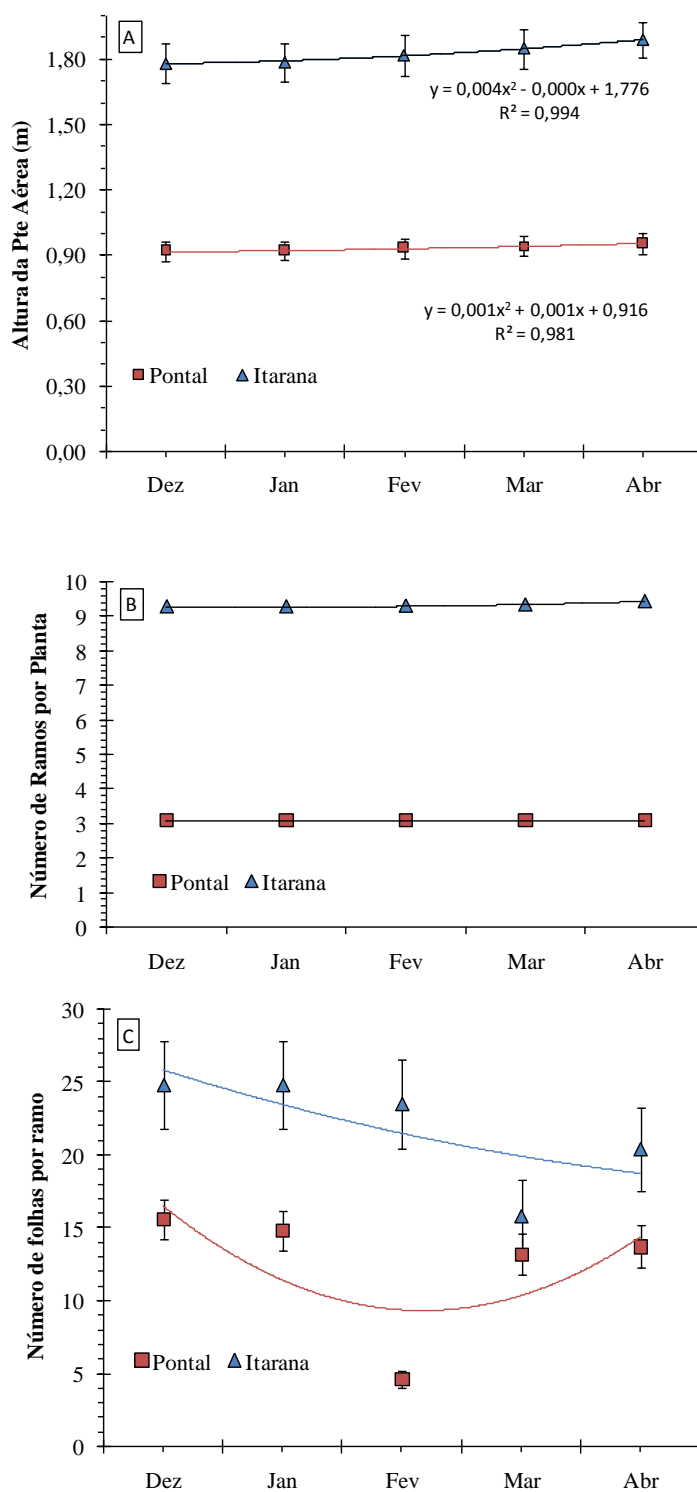


Figura 3 - Altura da parte aérea (A), número de ramos por planta (B) e número de folhas por ramo (C) de plantas de *Jatropha curcas* L., cultivadas em Itarana (triângulo azul) e Pontal do Ipiranga (quadrado vermelho) durante os meses de dez/2012 a abr/2013 em. Barras representam o erro padrão da média (n=10).

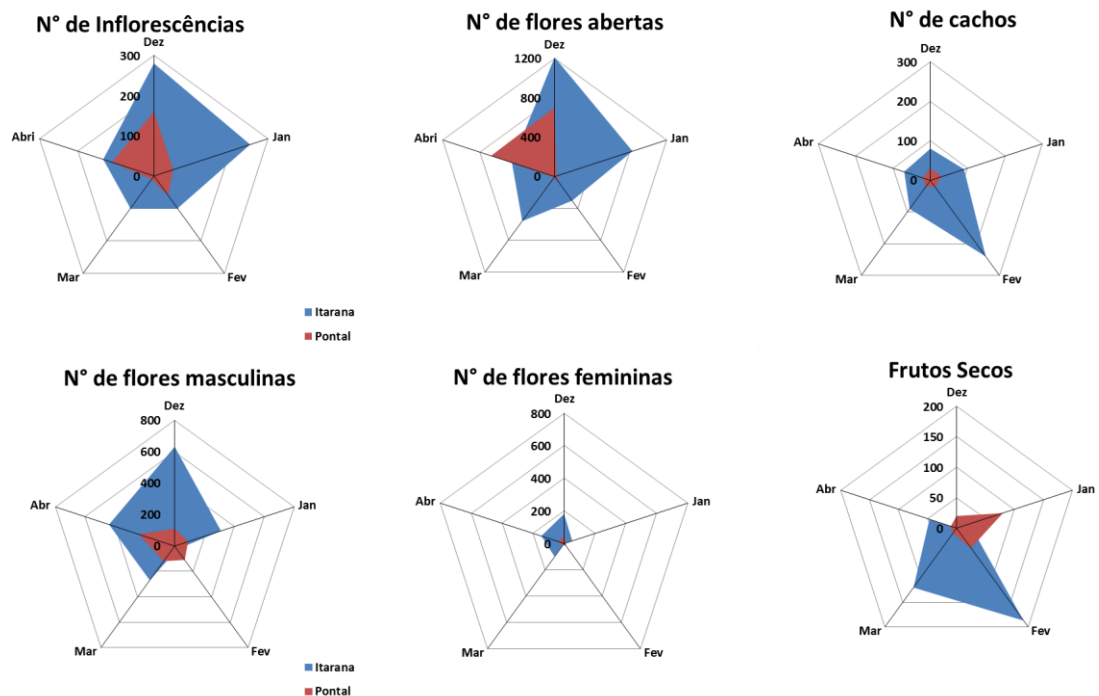


Figura 4 - Fenologia reprodutiva das plantas de *J. curcas* cultivadas em Itarana (azul) e Pontal do Ipiranga (vermelho) nos meses de dezembro de 2012 a abril de 2013 (n=10).

A figura 5 mostra o índice de clorofila SPAD encontrado nas plantas de Itarana e Pontal do Ipiranga. Observa-se que em dezembro, janeiro e março este índice foi maior nas plantas em Itarana enquanto no mês de abril houve uma queda e ele apresentou-se menor nas plantas cultivadas em Itarana. A análise estatística evidenciou uma queda dos índices de clorofila nas plantas de Itarana ao longo dos meses enquanto em Pontal do Ipiranga houve um aumento dos teores de clorofila desde dezembro até abril.

A fluorescência transiente da clorofila a das amostras adaptadas ao escuro é mostrada numa escala temporal logarítmica de 0,01 a 1s (Figura 6) e após a normalização, a fluorescência variável $V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)$. As amostras mostraram heterogeneidade entre os meses analisados (Figura 6B).

A figura 7A mostra a diferença cinética da fluorescência transiente entre os passos O e P revelando bandas positivas (dezembro, janeiro e fevereiro) e negativas (março e abril). Entre os passos O e J a diferença cinética revelou a banda K (Figura 7B), entre os passos O e K, a banda L (Figura 7C) e a banda G entre os passos I e P (Figura 7D). As bandas: L, K e G exibiram valores mais positivos no mês de janeiro e mais negativos no mês de abril.

Tabela 3 - Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A); concentração de CO₂ na câmara subestomática (C_i); taxa de transpiração (E); condutância estomática (g_s); evidência da remoção do carbono pela fotossíntese (C_i/C_a) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) de plantas de *J. curcas* cultivadas em Itarana e Pontal do Ipiranga avaliadas durante os meses de dezembro de 2012 a abril de 2013 (n=10).

		Itarana	Pontal do Ipiranga
A	Dezembro	9,85 Aa	4,16 Bb
	Janeiro	4,69 Ac	6,25 Ab
	Fevereiro	7,05 Ab	8,85 Aa
C _i	Dezembro	155 Ba	176 Aa
	Janeiro	179 Aa	205 Aa
	Fevereiro	76 Bb	185 Aa
E	Dezembro	2,20 Aa	1,24 Bb
	Janeiro	0,93 Ac	1,07 Ab
	Fevereiro	1,20 Bb	1,65 Aa
g _s	Dezembro	181,0 Aa	61,9 Bc
	Janeiro	55,3 Bb	115,6 Ab
	Fevereiro	51,8 Bb	157,1 Aa
C _i /C _a	Dezembro	0,44 Ba	0,51 Ab
	Janeiro	0,47 Ba	5,71 Aa
	Fevereiro	0,21 Bb	0,50 Ab
A/E	Dezembro	4,53 Ba	3,11 Ab
	Janeiro	4,82 Aa	0,04 Bc
	Fevereiro	5,45 Aa	5,49 Aa

Para cada parâmetro, médias seguidas pela mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre as plantas de cada localidade e médias seguidas pela mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os meses avaliados. As médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey (P < 0,05).

Ao aplicar o Teste JIP (Strasser et al., 1995), que detalha os parâmetros obtidos na cinética da fluorescência rápida OJIP, observou-se (Figura 8), que a maior taxa de dissipação de energia (F₀/F_M) foi encontrada nas plantas de Pontal do Ipiranga entre os meses de janeiro, fevereiro e março. As plantas de Itarana exibiram alta taxa de dissipação no mês de março, porém não houve diferença estatística quando os valores foram comparados com os das plantas de Pontal do Ipiranga para o mesmo mês.

Ao longo do estudo, a eficiência no transporte de elétron (ΨE₀) e o rendimento quântico do transporte de elétron (φE₀) mostraram tendência linear de diminuição dos valores desde dezembro (com maiores valores) até abril (com valores menores), porém essa tendência não ocorreu para as plantas em Pontal do Ipiranga, como pode ser observado na Figura 9A e

B. O rendimento quântico fotoquímico máximo do FSII (ϕP_0) foi menor nas plantas de Pontal do Ipiranga nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 9C).

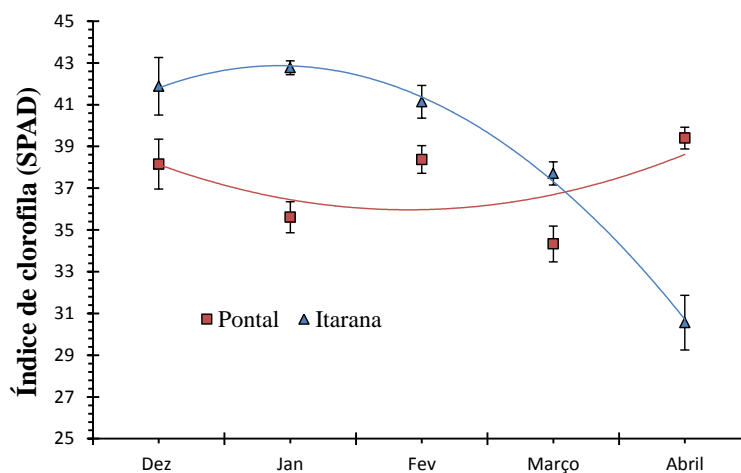


Figura 5 - Índice de clorofila (unidades SPAD) nas folhas das plantas de *Jatropha curcas* L., cultivadas em Itarana (triângulo azul) e Pontal do Ipiranga (quadrado vermelho), durante os meses de dezembro/2012 a abril/2013. Barras representam o Erro Padrão da Média de dez plantas.

Os valores obtidos para o rendimento quântico para a redução dos aceptores finais de elétrons do FSI (ϕR_0), diminuíram desde dezembro até fevereiro mas aumentaram em abril nas plantas de ambas as localidades. Quando as plantas cultivadas em Itarana foram comparadas com as plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga observou-se diferença significativa desse parâmetro (ϕR_0) nos meses de dezembro e abril (Figura 9D).

As plantas em Itarana apresentaram uma queda linear do índice de desempenho (potencial) do FSII (PI_{ABS}) a cada mês analisado, enquanto as plantas em Pontal do Ipiranga houve diminuição do PI_{ABS} nos meses de dezembro a fevereiro, porém houve um aumento em abril (Figura 9E). Esse fato também foi observado no índice de desempenho total (PI_{total}) (Figura 9F).

A análise da fluorescência modulada mostrou um maior rendimento quântico efetivo ($\phi PSII$) das plantas de Itarana nos meses de dezembro a fevereiro. Apesar disso, as plantas de Pontal do Ipiranga em março e abril apresentaram maior $\phi PSII$ (Figura 10A). A taxa de transporte de elétrons do FSII (ETR) foi alta no mês de janeiro porém os valores sofreram uma queda gradativa até o mês de abril em ambas as regiões analisadas (Figura 10B).

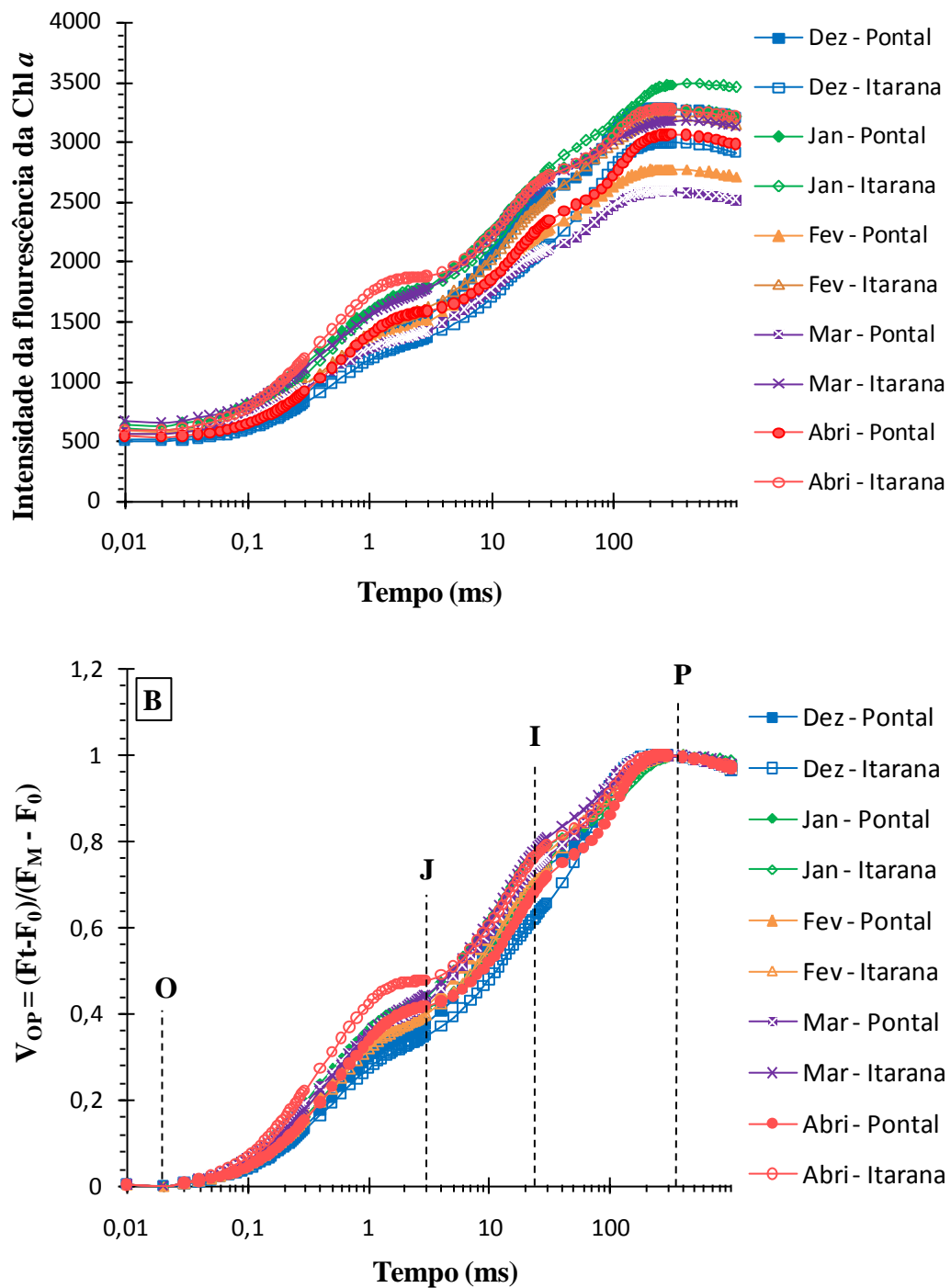


Figura 6 - Curvas de indução da fluorescência rápida da clorofila *a* (A) expressos como a cinética de fluorescência variável relativa entre F_0 e F_M expressos como $V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)$ (B), obtidas em folhas de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em campo aberto expostas as condições ambientais da região de Itarana e Pontal do Ipiranga entre dezembro de 2012 a abril de 2013 (n=10).

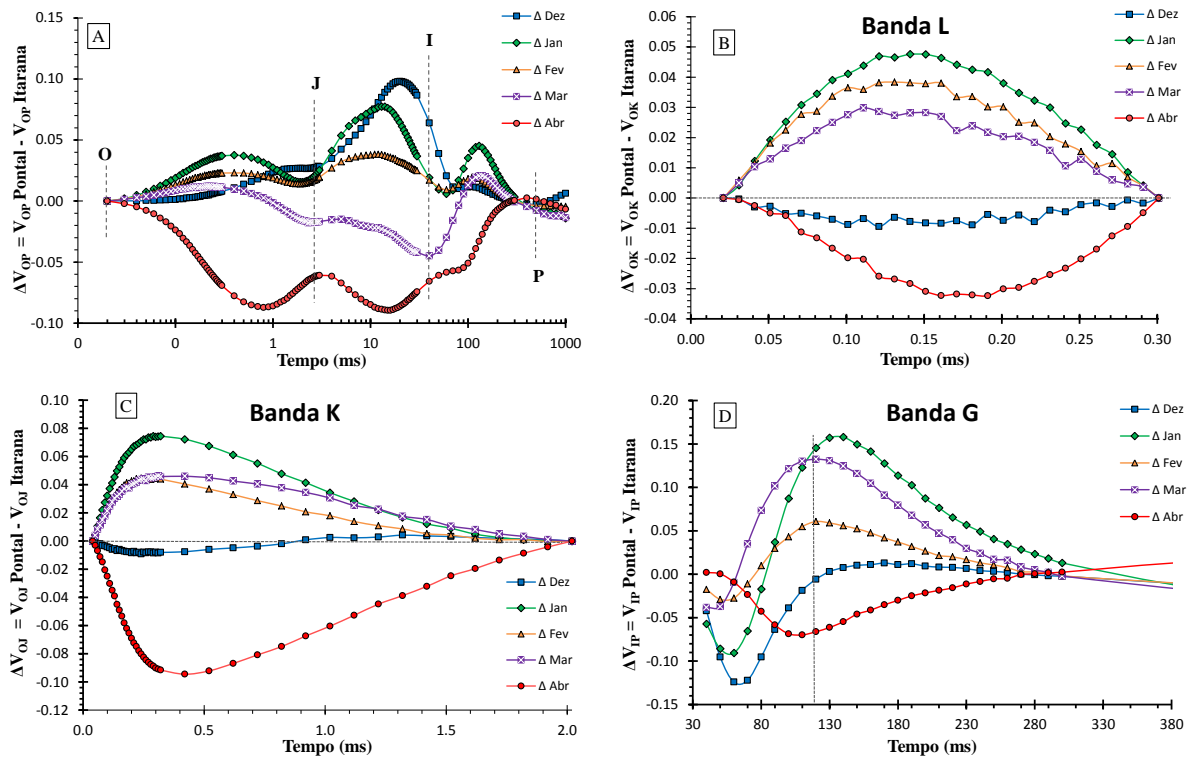


Figura 7 - Diferenças cinéticas da fluorescência da clorofila *a* entre as plantas de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em Itarana e Pontal durante os meses de dezembro/2012 a abril de 2013. (A) Entre os passos O e P como $\Delta V_{OP} = V_{OP}(\text{Pontal}) - V_{OP}(\text{Itarana})$; (B) entre os passos O e K como $\Delta V_{OK} = V_{OK}(\text{Pontal}) - V_{OK}(\text{Itarana})$; (C) entre os passos O e J como $\Delta V_{OJ} = V_{OJ}(\text{Pontal}) - V_{OJ}(\text{Itarana})$ (D) entre os passos I e P como $\Delta V_{IP} = V_{IP}(\text{Pontal}) - V_{IP}(\text{Itarana})$ (n=10).

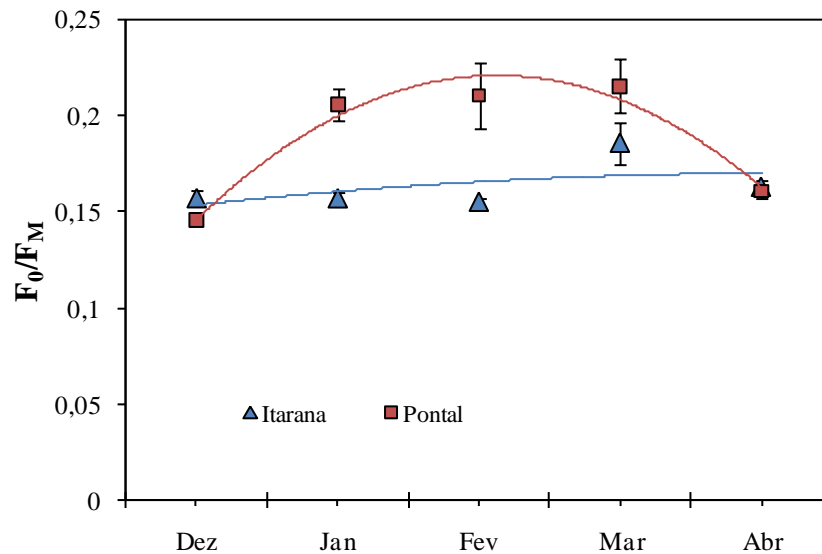


Figura 8 - Taxa de dissipação de energia (F_0/F_M) obtida pelo Teste JIP em plantas de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em Itarana e Pontal do Ipiranga durante os meses de dezembro/2012 a abril de 2013. Barras representam o erro padrão da média (n=35).

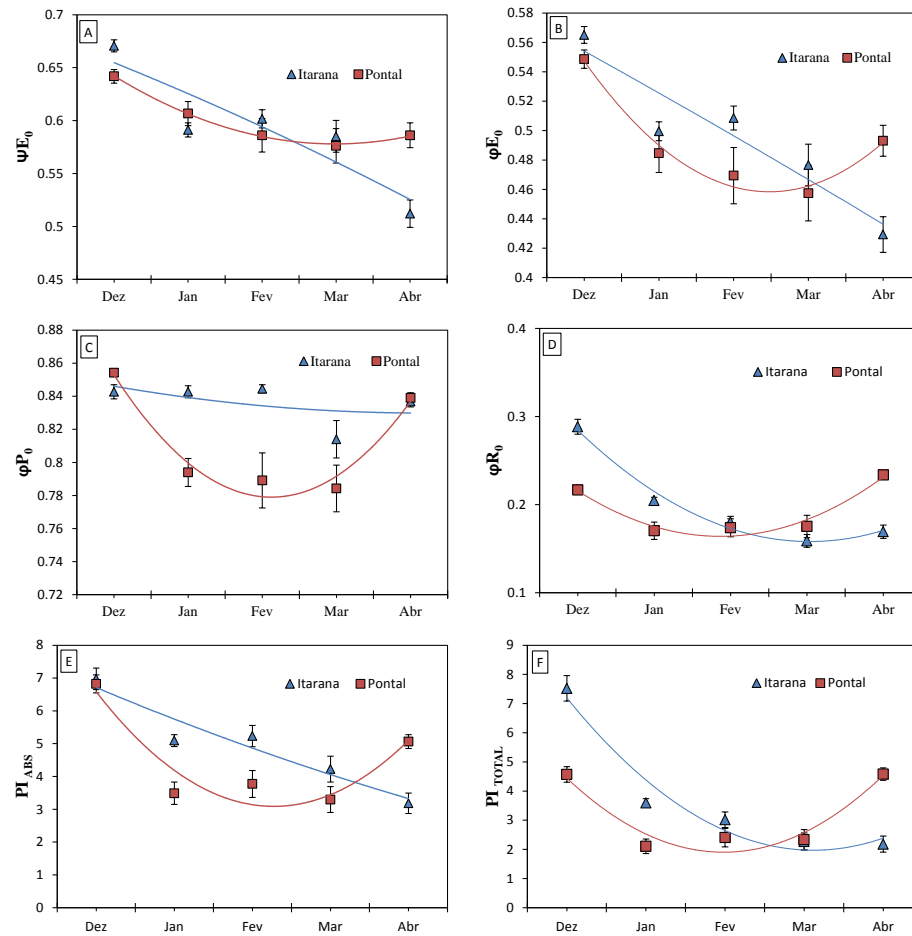


Figura 9 – Parâmetros do Teste JIP obtidos em folhas de plantas de pinhão-manso cultivadas em Itarana (triângulo e linha azul) e em Pontal do Ipiranga (quadrado e linha vermelha). Barras representam o erro padrão da média. Vide a lista de abreviaturas para maiores detalhes (n=35).

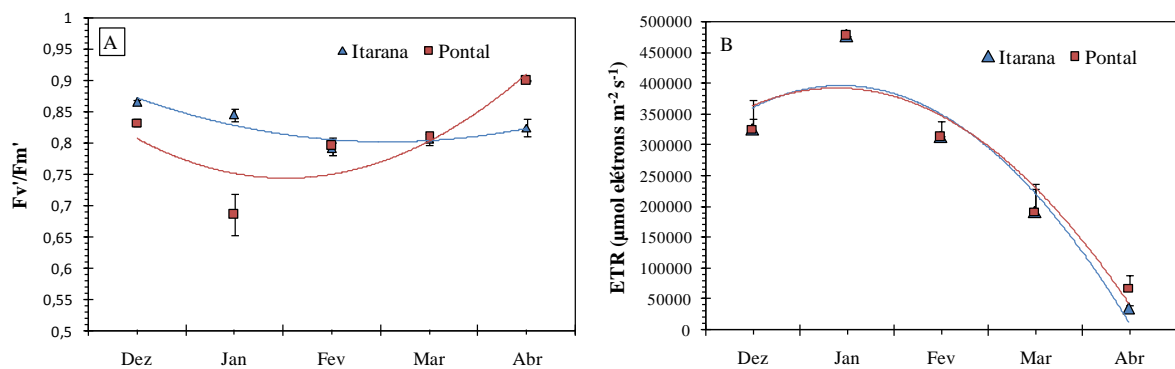


Figura 10 - Rendimento quântico efetivo do FSII ($\phi PSII$) (A) e taxa de transporte de elétrons (ETR) (B) obtidos nas plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) cultivadas em Itarana (triângulo e linha azul) e em Pontal do Ipiranga (quadrado e linha vermelha) (n=10).

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que as plantas de pinhão-manso cultivadas em Pontal do Ipiranga exibiram um menor crescimento de parte aérea ao longo dos cinco anos de cultivo (de 2009 a 2013). Galazzi (2011) acompanhou o crescimento da parte aérea destas plantas desde o transplante em 2009 até 2011 e já havia constatado menores taxas de crescimento das plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga quando comparadas com as plantas cultivadas em Itarana.

Além do crescimento em altura, o número de ramos primários do pinhão-manso em Itarana também foi maior. Segundo Ramos (2011) com maior número primário de ramos do pinhão-manso há promoção de surgimento de ramos secundários, determinando maior altura de parte aérea, maior número de folhas e de inflorescências, fato também constatado neste trabalho. Fato também constatado nesse trabalho, pois com maior número de ramos primários das plantas em Itarana, as plantas nessa localidade exibiram maior altura de parte aérea, maior número de folhas e um maior número de inflorescências, flores masculinas, flores femininas e frutos secos.

O período de frutificação durante a realização do trabalho ocorreu entre janeiro e março de 2013. Segundo Drummond et al. (1984) a frutificação do pinhão-manso ocorre de fevereiro a abril, caso o terreno receba irrigação ou chuvas regulares. Durante este trabalho, o número de frutos secos por planta foi maior em Itarana, com média de oito (8) frutos por cacho por planta. Trabalhos com pinhão-manso sob regime de sequeiro e com ciclo de produção semelhante, relatam que os cachos possuem de 6 a 10 frutos (SUNIL et al., 2008; SATURNINO et al., 2005). Portanto, é correto afirmar que as plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga apresentaram baixa produtividade, com apenas dois (2) frutos secos por cacho por planta.

A superioridade do desempenho do pinhão-manso em Itarana quanto ao crescimento da parte aérea, bem como a fenologia reprodutiva, pode ser em parte explicada pela deficiência nutricional nos tecidos foliares das plantas de Pontal do Ipiranga. A análise foliar apontou a deficiência de macronutrientes tais como o Cálcio (Ca) e o Magnésio (Mg) bem como a deficiência de micronutrientes: Manganês (Mn) e Boro (B) nas plantas de Pontal do Ipiranga. De acordo com Laviola e Dias (2008) o Cálcio e o Boro são indispensáveis à germinação do grão de pólen das flores de *J. curcas* e a deficiência de Boro pode contribuir para uma redução da produtividade dos frutos. Sintomas leves e temporários de deficiência de Mg^{2+} nas folhas não significam queda na produção de grãos, mas quando exposta à alta

intensidade luminosa as folhas deficientes em Mg^{2+} são sensíveis à luz e sintomas de clorose e necroses se acentuam (KERBAUY, 2008). Constatou-se que baixas concentrações de Manganês nos tecidos foliares de *Piper nigrum* provocam redução no crescimento e o aparecimento de clorose no limbo foliar (VELOSO et al., 1995). Esses fatos corroboram com a sugestão de que a deficiência dos macronutrientes (Ca e Mg) e micronutrientes (Mn e B) nas plantas de Pontal do Ipiranga podem ter afetado o bom desempenho da cultura.

Vale ressaltar que em fevereiro de 2013 foi observado nas plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga um amarelecimento das folhas, seguido pela queda das folhas mais velhas, sendo registrado menor número de folhas por plantas (Figura 3C). Os menores índices de pluviosidade e a queda da evapotranspiração potencial também foram registrados neste mês em Pontal do Ipiranga. De acordo com Fini et al. (2013) as folhas de pinhão não murcham em condição de estresse hídrico, ao invés disso as plantas perdem as folhas. Fica evidente, portanto, que houve queda das folhas mais velhas durante o período de maior estresse hídrico e as chuvas do início do mês de março promoveram uma rebrota de novas folhas nas plantas na região de Pontal do Ipiranga. Essa característica é entendida por Maes et al., (2009) como um comportamento oportunista às condições ambientais impostas, favorecendo a sua sobrevivência uma vez que ocorre uma diminuição da área foliar e consequentemente da perda de vapor de água por transpiração.

Com o menor número de folhas em fevereiro nas plantas de Pontal do Ipiranga foi observado aumento da taxa de assimilação de carbono (A), da taxa transpiratória (E), da condutância estomática (g_s) e a eficiência instantânea do uso da água (A/E) neste mês, confirmando as afirmações de Fini et al. (2013). Resultados semelhantes em condições de estresse hídrico também foram encontrados por Aronne e De Micco (2001) com queda das folhas de *Cistus incanus* L.

Durante os primeiros meses de medições deste trabalho observou-se maiores taxas de A , E e g_s nas plantas de Itarana, porém em fevereiro A diminuiu, assim como todos outros parâmetros. Somente a eficiência efetiva do uso da água (A/E) não foi alterada. Wu et al. (2008) sugeriram, em *Sophora davidii*, que a diminuição em A sob estresse hídrico pode estar associada à diminuição dos teores de clorofilas. E ainda, de acordo com Jeon et al. (2006), a destruição do complexo antena da clorofila e do conteúdo de carotenóides pode estar associado ao mal desempenho da etapa fotoquímica causada pelo estresse hídrico. Isto indica que as limitações não-estomáticas das plantas de pinhão-mansão podem ser preponderantes para a queda da eficiência da etapa fotoquímica. Este fato foi observado por Silva et al. (2010b) em pinhão-mansão e em plantas de milho por Di Ferdinando et al. (2011).

O teor de clorofila das folhas de pinhão-mansão ao longo do estudo diminuiu nas plantas de Itarana e aumentou em Pontal do Ipiranga na última avaliação mensal, mês de abril de 2013. Os maiores índices de clorofila nas plantas de Itarana podem ser explicados pela maior disponibilidade de nutrientes no solo e nas plantas e pela maior disponibilidade hídrica (maior precipitação total anual) do que a região de Pontal do Ipiranga, distrito de Linhares (BRINATE, 2013). No que se refere ao estado nutricional das plantas, a análise foliar revelou que em ambas as regiões havia alta concentração de nitrogênio (38,78 a 37,24 g. Kg⁻¹) indicando que outros elementos como o Magnésio, Manganês e Boro em concentrações inferiores às concentrações adequadas para os respectivos nutrientes provocam clorose nas folhas, evidenciando a importância desses nutrientes na síntese de clorofila (MALAVOLTA et al., 2002).

Com relação à atividade fotossintética, as curvas OJIP obtidas nas plantas das duas regiões demonstram que todas as plantas estavam fotossinteticamente ativas (TÓTH et al., 2007; YUSUF et al., 2010), porém, as evidências mensais obtidas pela análise detalhada das curvas de indução da fluorescência transiente mostraram detalhes ao longo do estudo. A análise da diferença cinética (ΔV_{OP}) apontou diferenças positivas nas folhas das plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga, que demonstram claramente a inibição do transporte de elétrons entre o FSII e o FSI nos três primeiros meses analisados (dezembro, janeiro e fevereiro). Tais resultados também foram encontrados por Prakash et al. (2003) e por Pezzopane et al. (2003) atribuindo aos valores positivos de ΔV_{OP} às folhas em processo de senescência, evidenciando uma menor eficiência de transporte de elétrons para além da quinona primária do FSII (Q_A^-). Em abril houve um aumento da fluorescência no passo J, geralmente interpretado como uma evidência do acúmulo da forma reduzida da quinona primária (Q_A^-) provocado pela inibição do transporte de elétrons excitados para além Q_A (STRASSER; GOVINDJEE, 1992; STRAUSS et al., 2006). Esse comportamento permitiu a visualização da banda K, indicativo de danos no processo de fotoxidação da água no complexo de evolução do oxigênio (CEO), sendo a estrutura constituída por complexos de Manganês (STRAUSS et al., 2006; YUSUF et al., 2010). A ocorrência da banda K representa um declínio na eficiência fotoquímica de redução dos componentes do FSII nas plantas de Pontal do Ipiranga, apontando como uma das possíveis causas a deficiência de Manganês (Mn) nas folhas dessas plantas.

Em janeiro, fevereiro e março houve a diminuição da conectividade das unidades que compõem o centro de reação do FSII, comprovado pelo aparecimento da Banda L positiva nas

plantas de Pontal do Ipiranga. Esta Banda L foi também encontrada por Holland et al. (2013) trabalhando com *Quercus* sp. durante a senescência das folhas.

Com a normalização entre os passos I e P das curvas OJIP foi revelando uma Banda G nas plantas de Pontal do Ipiranga entre os meses de janeiro, fevereiro e março. O aparecimento da Banda G positiva indica danos ao nível de “pool” de plastoquinonas e compromete a eficiência do FSI (STRASSER et al., 2004). Essa banda, ainda pouco estudada, foi também encontrada por Morales-Flores et al. (2013), trabalhando com herbicidas de origem natural que observaram os efeitos seletivos do herbicida, ao nível de redução do “pool” de plastoquinonas, em dicotiledôneas.

O cálculo dos parâmetros do Teste JIP permitiu uma visão mais aprofundada das mudanças da funcionalidade do aparato fotossintético durante o período avaliado e a confirmação dos dados já discutidos. Desde dezembro observou-se nas plantas de Pontal do Ipiranga um aumento da taxa de dissipação de energia (F_0/F_M) e da dissipação de energia capturada por centro de reação (DI_0/RC). Soma-se a estes fatos o aumento dos valores da fluorescência inicial (F_0) no mês de janeiro. Estes eventos refletem claramente a desestabilização do centro de reação do FSII e a diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (BAKER; ROSENQVST, 2004) e comprovam o aparecimento da Banda L.

A diminuição da atividade de transporte de elétrons no FSII foi comprovada com o aumento da fluorescência na etapa J e o aparecimento da banda K e com o rendimento quântico máximo do FSII (ϕPo) que mostrou diferenças significativas nos meses de janeiro a março.

Vários autores têm sugerido que os índices de desempenho, PI_{ABS} e PI_{TOTAL} , representam melhor a eficiência do fluxo energético na cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese, por serem parâmetros que incorporam vários indicadores da fluorescência da clorofila *a* (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008; YUSUF et al., 2010). Houve diferença significativa em PI_{ABS} (que representa o índice de desempenho do FSII) durante os meses de janeiro, fevereiro e março, sendo menor nas plantas em Pontal do Ipiranga. Holland et al. (2013) mostraram que devido à diminuição da atividade do transporte de elétrons, há uma degradação preferencial nos centros de reação do FSI. De fato, observou-se neste estudo que o rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fóton absorvido (ϕR_0) foi menor nas plantas de Pontal do Ipiranga nos meses de dezembro e janeiro, manteve-se semelhante em ambas as regiões durante os meses de menor pluviosidade (fevereiro e março) e aumentou, isto é recuperou-se mais rapidamente do que nas plantas de

Itarana, em abril. O índice de desempenho total (PI_{TOTAL}) evidência claramente essa afirmativa e corrobora com a afirmativa de Jedmowski et al. (2013) de que o PI_{TOTAL} pode ser um parâmetro melhor do que o PI_{ABS} , pois inclui o efeito da exposição do estresse causado no transporte de elétrons dependente do FSI.

Valores similares ao ϕP_0 foram encontrados para o rendimento quântico efetivo do FSII ($\phi PSII$) nas plantas cultivadas em Itarana durante os meses de janeiro a março. Comportamento semelhante àqueles encontrados na cinética da fluorescência rápida pelo Teste JIP - PI_{ABS} e PI_{TOTAL} - aumentam a confiança na interpretação dos dados relacionados ao desempenho fotoquímico das plantas de pinhão-manso, pois as taxas de transporte de elétrons (ETR) obtidas pela fluorescência modulada também mostraram queda ao longo do estudo.

É importante destacar que o mapa de zoneamento agroclimático do Estado do Espírito Santo indica a localidade de Pontal do Ipiranga situada em uma aérea considerada como apta para o cultivo do pinhão-manso e a localidade de Itarana foi considerada como inapta (TOLEDO et al., 2009; PEZZOPANE et al., 2012). Tal observação indica um resultado conflitante com os dados mostrados nesse estudo. Pois, os resultados aqui apresentados indicam que as plantas cultivadas em Itarana (área inapta) possuem um melhor desempenho da cultura do que as plantas em Pontal do Ipiranga (área apta). Estes resultados subsidiam a sugestão da necessidade do conhecimento da fisiologia vegetal durante a elaboração de modelos de zoneamento agroclimático. Considerando que o desenvolvimento da cultura é afetada pelos níveis de radiação fotossinteticamente ativa, pela sazonalidade da temperatura e da pluviosidade torna-se necessário considerar as variáveis fisiológicas para uma informação precisa e confiável.

7 CONCLUSÃO

As plantas cultivadas em Pontal do Ipiranga mostraram menor crescimento de parte aérea e baixa produção de inflorescências, flores e frutos. Nessa localidade as plantas apresentaram baixa concentração de nutrientes (Ca, Mg, Mn e B) nos tecidos foliares e menores índice de clorofila. As trocas gasosas revelaram a resposta fotossintética do pinhão-manso sob diferentes condições edafoclimáticas e os maiores índices relacionados ao desempenho da atividade fotoquímica foram obtidos em Itarana nos dois primeiros meses.

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que o manejo cultural de *Jatropha curcas* em áreas litorâneas, sob regime de sequeiro limitaram o bom desempenho das plantas. Nesse estudo foi identificado a importância de adicionar as variáveis fisiológicas ao modelo de

zoneamento agroclimático da cultura para determinação de áreas aptas ou inaptas ao cultivo do pinhão-manso.

8. REFERÊNCIAS

AKER, C. L. Growth and reproduction of *Jatropha curcas*. In G. M. Gübitz, M. Mittelbach, and M. Trabi (Eds.). *Biofuels and Industrial Products from Jatropha curcas*. Dbv-Verlag für die Technische Universität Graz, Graz, Austria. p. 2-18, 1997.

AKER, C. L. **Floración sincrónica en *Jatropha curcas***. Taller Asincronía Floral en *Jatropha*. Seminario Internacional *Jatropha*. Colombia: Villavicencio, 2011.

ARONNE, G., de MICCO, V. Seasonal dimorphism in the Mediterranean *Cistus incanus* L. subsp. *Incanus*. **Annals of Botany**, v. 87, p. 789-794, 2001.

ARRUDA, F.P. de; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.de; WALTER ESFRAIN PEREIRA, W.E; SEVERINO, R. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.8, p.789-799, 2004.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p.1607–1621, 2004.

BONGI, G., LORETO, F. Gas-exchange properties of salted stressed olive (*Olea europea* L.) leaves. **Plant Physiology**, v.90, p.1408-1416, 1989.

BRASILEIRO, B.G.; DIAS, D.C.F.S, BHERING, M.C, DIAS, L.A.S. Floral biology and characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 34, p.556-562, 2012.

BRESTIC, M., ZIVCAK, M., KALAJI, H.M., CARPENTIER, R., ALLAKHVERDIEV, S.I. Pho-tosystem II thermo stability in situ: environmentally induced acclimation and genotype-specific reactions in *Triticum aestivum* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 57, p.93–105, 2012.

BRINATE, I.B. **Índices de precipitação no estado do Espírito Santo**. Monografia (Engenheiro Florestal) - Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Jerônimo Monteiro: Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. 30f.

CAMPUZANO DUQUE, L. **Plataforma *Jatropha* Colombia: Mito o Realidad**. Seminario Internacional *Jatropha* Colombia, 19-21 de octubre, Villavicencio, Colombia. 2011.

CHANG-WEI, L.; KUN, L.; YOU, C.; YOUNG-YU, S. Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v.9, p.114-119, 2007.

CHEN, L.S., LI, P.M., CHENG, L.L. Comparison of thermotolerance of sun-exposed peel and shaded peel of ‘Fuji’ apple. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 110–116, 2009.

CHRISTEN, D.; SCHÖNMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R.J.; DÉFAGO, G. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.504-514, 2007.

CONTRAN, N.; CHESSA, L.; LUBINO, M.; BELLAVITE, D.; ROGGERO, P.P.; ENNE, G.A. State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: From sowing to biodiesel and by-products. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p.202–215, 2013.

DI FERDINANDO, M., BRUNETTI, C., FINI, A., TATTINI, M. Flavonoids as antioxidants in plants under abiotic stresses. In: Ahmad, P., Prasad, M.N.V. (Eds.), *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer, New York, p. 159-179. 2011.

DNISSA, K.U.; PARAMATHMA, M. Studies on pollen viability and stigma receptivity in *Jatropha* species. In: PARAMATHMA, M.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. *Jatropha* improvement, management and production of biodiesel. Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University, 2007. p.85-95.

DRUMOND, M. A.; ANJOS, J. B.; MORGADO, L. B.; SOUZA, V. F.; FARIAS, G.A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento do pinhão-mansão em Nossa Senhora da Glória, SE. In: Congresso Internacional de Agroenergia e Biocombustíveis, 2005, Teresina, Anais. CPMN, 2007. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Circular Técnica nº 6. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2000. 47p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627p.

EVANS, J. R.; VON CAEMMERER, S. Carbon dioxide diffusion inside leaves. **Plant Physiology**, v.110, p.339-346, 1996.

EVERSON, C.S.; MENGISTU, M.G.; GUSH, M.B. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. **Biomass and Bioenergy**, v.59, p. 59 – 69, 2013.

FINI, A.; BELLASIO, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v.89, p.21-29, 2013.

GALAZZI, E. B. **Desempenho fotossintético de plantas de *Jatropha curcas* L. cultivadas no estado do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 46f. 2011a.

GALAZZI, E. B.; ARAUJO, R. A.; DUARTE, M. M.; FONTES, R. V.; SILVA, D. M. **Plantas de pinhão-mansão rendem mais em cultivo exclusivo ou consorciadas?** In: Anais do XIII Congresso Brasileiro..., 2011, Búzios, RJ. Brazilian Journal of Plant Physiology. Campos dos Goytacazes, RJ: Brazilian Society of Plant Physiology, v. 23. p. 270-270, 2011b.

GALAZZI, E.B., TONETTI JR. P., SILVA, D. M. **Aspectos da fisiologia de plantas de pinhão-manso. II Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão-manso**, Brasília, DF, Brasil. 2011c.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.990, p.87- 92, 1990.

GIL, P.T; FONTES, P. C. R. ; CECON, P. R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v.20, p. 611-615, 2002.

GUIDI, L., CALATAYUD, A. Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. **Environmental Experimental Botany**. v. 103, p. 42 – 53, 2014.

HELLER, J. Physic nut. *Jatropha curcas* L.: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66p.

HOLLAND, V., KOLLER, S., BRÜGGEMANN, W. Insight into the photosynthetic apparatus in evergreen and deciduous European oaks during autumn senescence using OJIP fluorescence transient analysis. **Plant biology**. v. 16, p. 801- 808, 2013.

JEON, M.W., ALI, M.B., HAHN, E.J., PAEK, K.Y.: Photosynthetic pigments, morphology and leaf gas exchange during ex-vitro acclimatization of micropropagated CAM *Doritaenopsis* plantlets under relative humidity and air temperature. – **Environmental and Experimental Botany**, v.55, p.183-194, 2006.

JUHÁSZ, A. C. P.; PIMENTA, S.; SOARES, B. O.; MORAIS, D. L. B.; RABELLO, H. O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão -manso no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1073-1077, 2009.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

KITAJIMA, M., BUTLER, W.L. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.376, p.105-115, 1975.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G.E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthesis Research*, v.79, p.209-218, 2004.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p.1969-1975, 2008.

MACHADO, M. I. P; LAVIOLA, B.G. Estudo bibliométrico da produção científica em pinhão-manso no *Web Of Science* no período de 1945 a 2011. II CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA DE PINHÃO-MANSO, BRASÍLIA – DF, 2011.

MAES, W. H.; TRABUCCO, A.; ACHTEN, W. M. J.; MUYS, B. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. **Biomass Bioenergy**., v.33, p.1481–1485, 2009.

MAKINO, A.; MIYAKE, C.; YOKOTA, A. Physiological functions of the water–water cycle (Mehler reactions) and the cyclic electron flow around PSI in rice leaves. **Plant and Cell Physiology**, v.43, p.1017-1026, 2002.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, p.66-67, 2002.

MATHUR, S.; JAJOO, A.; MEHTA, P.; BHARTI, S. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Plant Biology**, v.13, p.1–6, 2011.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MAYA, Y.; ARRIAGA, L. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstory species of a desert scrub community in north-western Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 34, p. 23-35, 1996.

MORALES-FLORES, F.; AGUILAR, M.I.; BEATRIZ KING-DÍAZ, B.; LOTINA-HENNSEN, B. Derivatives of diterpen labdane-8 α , 15-diol as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts and growth plant inhibitors. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 125, p. 42–50, 2013.

NEGUSSIE, A.; ACHTEN, W. M. J.; VERBOVEN, H. A. F.; HERMY, M.; MUYS, B. Floral display and effects of natural and artificial pollination on fruiting and seed yield of the tropical biofuel crop *Jatropha curcas* L.. **GCB Bioenergy**, doi: 10.1111/gcbb.12072. 2013.

NIETSCH, S.; VENDRAME, W. A.; CRANE, J. H.; PEREIRA, M. C. T. Assessment of reproductive characteristics of *Jatropha curcas* L. in south Florida. **GCB Bioenergy**, doi: 10.1111/gcbb.12051. 2013.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S ID EL; SCHANSKER, G; STRASSER, R.J. Probing the **responses** of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll *a* fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 438–446, 2007.

PAIVA NETO, V. B.; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B.; ZUFFO, M. C. R.; ALVAREZ, R. C. F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L.. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.558-563, 2010.

PETERSON, R.B. Partitioning of noncyclic photosynthetic electron transport to O₂-dependent dissipative processes as probed by fluorescence and CO₂ exchange. **Plant Physiology**, v.90, p.1322-1328, 1989.

PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, E. A.; SANTOS, A. R. dos; SILVA, G. F.; REIS, E. F. dos. Delimitação de zonas agroclimáticas no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n.2, p. 149-156, 2006.

PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECILIO, R. A. **Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo**. Alegre, ES:CAUFES, 2012. 174p.

PEZZOPANE, J. E. M.; PRAKASH, J.S.S., SRIVASTAVA, A., STRASSER, R.J., MOHANTY, P. Senescence-induced alternation in the photosystem II functions of *Cucumis sativus* cotyledons: probing of senescence driven alternation of photosystem II by chlorophyll *a* fluorescence induction O-J-I-P transients. — **Indian Journal of Biochemistry and Biophysical**, v.40, p.160–168, 2003.

PRAKASH, J. S. S.; BAIG, M. A.; BHAGWAT, A. S.; MOHANTY, P. Characterisation of senescence-induced changes in light harvesting complex II and photosystem I complex of thylakoids of *Cucumis sativus* cotyledons: age induced association of LHCII with photosystem I. **Journal of Plant Physiology**, v.160, p.175–184, 2003.

RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v.83, p.1395-1398, 2002.

RAMOS, P.C. **Ação de reguladores vegetais no crescimento vegetativo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) no município de Gurupi-to.** 2011. Dissertação (Mestrando em Produção Vegetal). Gurupi:Universidade Federal do Tocantins. 2011. 48p.

RAO, K.A.V.R.; WANI, S. P.; SINGH, P. K.; SRINIVAS, CH.; RAO, S. Water requirement and use by *Jatropha curcas* in a semi-arid tropical location. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p.175 – 181, 2012.

SANTOS, C. M. DOS; ENDRES, L.; WANDERLEY FILHO, C. de L.; ROLIM, E. V.; FERREIRA, V. M. Fenologia e crescimento do pinhão-mansão cultivado na zona da mata do Estado de Alagoas, Brasil. **Scientia Agraria**, v. 11, p. 201-209, 2010.

SANTOS, T. A.; TESSARI, L. F. A.; TONETTI JR., P.; SABINO, D. J. G.; ROCHA, G. C.; SILVA, D. M.. **Respostas fotossintéticas de três genótipos de pinhão-mansão analisados em condições de campo no município de Santa Teresa/ES.** In: 5º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 8º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Lavras, MG: EdUFLA, v. 1. p. 185-186, 2012.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KIKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SAYER, E. J.; NEWBERY, D. M. The role of tree size in the leafing phenology of a seasonally dry tropical forest in Belize, Central America. **Journal of Tropical Ecology**, v.19, p. 539-548, 2003.

SCHANSKER, G.; TÓTH, S. Z.; HOLZWARTH, A. R.; GYÖZÖ, G. Chlorophyll *a* fluorescence: beyond the limits of the QA model, **Photosynthesis Research**, v.5, p 1-7, 2013.

SCHOCK, A. A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E. G.; SILVA, D. M.; BACARIN, M. A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-mansão cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.3–9, 2014.

SCHREIBER, U.; SCHLIWA, U.; BILGER, W. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulated fluorometer. **Photosynthesis Research**, v.10, p.51–62, 1986.

SILVA, E .N.; FERREIRA-SILVA, S .L.; FONTENELE, A. de V.; RIBEIRO, R. V.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p.1157–1164, 2010a.

SILVA, E.N., RIBEIRO, R.V., FERREIRA-SILVA, S.L., VIÉGAS, R.A., SILVEIRA, J.A.G., Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130- 1137, 2010b.

SILVA, D. M.; BACARIN, M. A.; BIRCHLER, R.; TONETTI JR., P.; SABINO, D. J. G.. **Fotossíntese e Fenologia Reprodutiva de três genótipos do pinhão-mansão**. In: 5º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 8º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Lavras, MG:EdUFLA, v. 1. p. 573-574, 2012.

STIRBET, A; GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: a personal perspective of the thermal phase, the J-I-P rise. **Photosynthesis Research**, v. 113:p. 15–61, 2012.

STRASSER, R.J.; GOVINDJEE. **The F_0 and the O-J-I-P fluorescence rise in higher plants and algae**. In: Argyroudi-Akoyunoglou JH (ed) Regulation of chloroplast biogenesis. Plenum Press, New York, p. 423–426, 1991.

STRASSER, R.J.; GOVINDJEE, **The F_0 and the O-J-I-P fluorescence rise in higher plants and algae**, in: J.H. Argyroudi-Akoyunoglou (Ed.), Regulation of Chloroplast Biogenesis, Plenum Press, v.1, p. 423-426, 1992.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. **Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test**. In: Mathis, P. (Ed.), Photosynthesis: From Light to Biosphere. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, v. 5, p. 977–980, 1995.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. **The fluorescent transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples**. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (Eds.), Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. Taylor and Francis, London, pp. 445–483, 2000.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.. **Analysis of fluorescence transient**. in: G. Papageogiou, Govindjee (Eds.), Chlorophyll Fluorescence: a Signature of Photosynthesis. **Advances in Photosynthesis and Respiration**. Springer, Dordrecht, vol. 19, p. 321–362, 2004.

STRAUSS, A. J.; KRÜGER, G. H. J.; STRASSER, R. J.; VAN HEERDEN, P. D. R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.147–157, 2006.

SUAREZ-LOPEZ, P.; WHEATLEY, K.; ROBSON, F.; ONOUCHI, H.; VALVERDE, F.; COUPLAND, G. CONSTANS mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis*. **Nature**, v.410, p.1116–1120, 2001.

SUNIL, N.; VARAPRASAD, K. S.; SIVARAJ, N.; KUMAR, T. S.; BABU ABRAHAMA, B.; PRASAD, R. B. N. Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm *in-situ*—A case study. **Biomass and bioenergy**, v. 32 , p. 198 – 202, 2008.

TESSARI, L. F. A.; SANTOS, T. A.; SABINO, D. J. G.; TONETTI JR., P.; ROCHA, G. C.; SILVA, D. M.. **Plasticidade fenotípica de três genótipos de pinhão-mansão em resposta à temperatura.** In: 5º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 8º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Lavras, MG:EdUFLA, v. 1. p. 247-248, 2012.

THOREN, D.; THOREN, P.; SCHMIDHALTER, URS. Influence of ambient light and temperature on laser-induced chlorophyll fluorescence measurements. **European Journal of Agronomy**, v. 32, p. 169 – 176, 2010.

TOLEDO, J. V.; Martins, L.D.; KLIPPEL, V.H.; PEZZOPANE, J.E.M.; TOMAZ, M.A.; DO AMARAL, J.F.T. Zoneamento agroclimático para cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) e da mamoma (*Ricinus communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Revista Agropecuária científica no semi-árido**, v.5, p.41-51, 2009.

TÓTH, S. Z.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. A non-invasive assay of the plastoquinone pool redox state based on the OJIP-transient. **Photosynthesis Research**, v. 93, p. 193-2003, 2007.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. J. **In vivo assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants.** In: A. Varma (Ed.). Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics. 3rd ed. Springer, 2008, pp. 679–703.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). **Scientia Agricola**, v.52, p. 376-382, 1995.

WADHWA, R.; KUMARI, N.; SHARMA, V. Varying light regimes in naturally growing *Jatropha curcas*: pigment, proline and photosynthetic performance. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 6, n.4, p. 66-80, 2010.

WU, F.Z.; BAO, W.K.; LI, F.L.; WU, N. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. **Photosynthetica**, v. 46, p. 40-48, 2008.

XIANG, M.; CHEN, S.; WANG, L.; DONG, Z.; HUANG, J.; ZHANG, Y.; STRASSER, R.J. Effect of vulgolic acid produced by *Nimbya alternantherae* on the photosynthetic apparatus of *Alternanthera philoxeroides*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.65, p. 81-88, 2013.

YAN, K.; CHEN, P.; SHAO, H.; ZHANG, L.; XU, G. Effects of short-term high temperature on photosynthesis and photosystem II performance in *Sorghum*. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.197, p. 400–408, 2011.

YANOVSKY, M. J.; KAY, S.A. Molecular basis of seasonal time measurement in *Arabidopsis*. **Nature**, v.419, p.308–312, 2002.

YEANG, H.Y. Circadian and solar clocks interact in seasonal flowering. **Bioessays**, v.31, p.1211–1218, 2009.

YONG, J. W. H.; TAN, Y. F.; NAG, S. N.; CHEW, A. Y. L. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 208-218, 2010.

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll *a* fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

ZAMARRIPA, A.. Diversidad genética y potencial agroenergético de *Jatropha curcas* L. en México para la producción de biocombustibles. Seminario Internacional *Jatropha* Colombia, 19-21 de octubre, Villavicencio, Colombia. 2011.